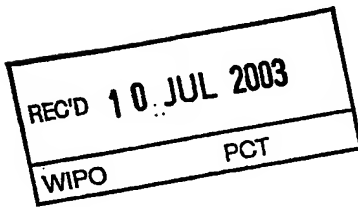


PCT / E P 0 3 / 0 5 7 3 9



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:**

102 29 232.9

**Anmeldetag:**

28. Juni 2002

**Anmelder/Inhaber:**

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., München/DE

**Bezeichnung:**

Membrantrennverfahren zur Anreicherung  
wenigstens einer Gaskomponente in einem  
Gasstrom

**IPC:**

B 01 D, F 02 M und F 02 C

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 28. Mai 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

BESTÄTIGUNGSKOPIE

Hiebinger

Gesthuysen, von Rohr & Eggert

02.0715.9.wz

Essen, den 28. Juni 2002

**P a t e n t a n m e l d u n g**

der Firma

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung  
der angewandten Forschung e.V.  
Leonrodstraße 54

D - 80636 München

mit der Bezeichnung

**Membrantrennverfahren zur Anreicherung wenigstens einer  
Gaskomponente in einem Gasstrom**

## **Membrantrennverfahren zur Anreicherung wenigstens einer Gaskomponente in einem Gasstrom**

Die Erfindung betrifft ein Membrantrennverfahren zur Anreicherung wenigstens einer Gaskomponente in einem Gasstrom, insbesondere zur Sauerstoffanreicherung von Luft, wobei der Gasstrom zur Anreicherung der Gaskomponente wenigstens einer wenigstens eine Membran aufweisenden Membrantrenneinheit einer Membrantrenneinrichtung zugeführt wird und wobei an der Membran die Auftrennung des Gasstroms in ein auf einer Retentatseite der Membran abgeführtes Retentat und in ein auf einer Permeatseite der Membran abgeführtes Permeat erfolgt. Darüber hinaus betrifft die vorliegende Erfindung eine Membrantrennvorrichtung zur Anreicherung wenigstens einer Gaskomponente in einem Gasstrom, insbesondere zur Sauerstoffanreicherung von Luft, mit wenigstens einer wenigstens eine Membran aufweisenden Membrantrenneinheit einer Membrantrenneinrichtung, wobei der Gasstrom zur Anreicherung der Gaskomponente der Membrantrenneinrichtung zugeführt wird und an der Membran die Auftrennung des Gasstroms in ein auf einer Retentatseite der Membran abgeführtes Retentat und in ein auf einer Permeatseite der Membran abgeführtes Permeat erfolgt.

Sauerstoff und Stickstoff werden heutzutage überwiegend mit dem vor 100 Jahren von Linde und Claude (Air Liquide) entwickelten kryogenen Gastrennverfahren hergestellt, bei dem Luft auf unter  $-180^{\circ}\text{C}$  abgekühlt und destilliert bzw. rektifiziert wird. Aufgrund der extrem niedrigen Temperaturen sind hohe Energiekosten unvermeidlich. Die großen industriellen Gastrennanlagen für technische Gase sind aufgrund ihrer komplexen Gestaltung und Konstruktion extrem kosten- und energieintensiv. Sie dienen zur Herstellung von Reingasen in hohen Volumenströmen.

Weitere Möglichkeiten zur Gewinnung von Sauerstoff und sauerstoffangereicherter Luft bieten Verfahren zur adsorptiven Zerlegung der Luft in Stickstoff und Sauerstoff mit Molekularsieben, Zeolithen oder Aktivkohlen. Nach der Molekülgröße sowie der Adsorptions- und Diffusionswechselwirkungen findet dort eine Trennung statt. Nachteile der vorgenannten Verfahren sind der hohe energetische Aufwand und die aufwendigen apparativen Einheiten. Die

Anlagen werden vorwiegend im industriellen Maßstab gebaut, mit der Vorgabe, hohe Durchsatzraten vor allem von Reingasen zu erzeugen. Die Investitions-, Wartungs- und Instandhaltungskosten sind aufgrund der komplexen Einheiten entsprechend hoch.

5

Im Vergleich zu den klassischen Trennverfahren zeichnet sich die Gastrennung mit Membranen durch geringen verfahrenstechnischen Aufwand aus. Man unterscheidet bei der Gastrennung mittels Membranen aufgrund des vorliegenden Aggregatzustandes in "flüssig" oder "gasförmig", und der zu trennenden Medien oder Komponenten zwischen den Gas-Membrankontakto-  
10 ren, der Membranpervaporation und der Gaspermeation. Verfahren mit Gas-Membrankontakto-  
ren sind dadurch charakterisiert, daß auf der Permeatseite eine flüssige Phase vorliegt, in der das Permeat absorbiert wird und ggf. chemisch reagiert. Die Gaspervaporation ist ein Verfahren zur Trennung wäßriger organischer oder rein organischer flüssiger Gemische, bei dem permeierende  
15 Komponenten vom flüssigen in den dampfförmigen Zustand übergehen. Die Gaspermeation zeichnet sich dagegen dadurch aus, daß sowohl der Eingangsgasstrom bzw. der Retentatstrom als auch der Permeatstrom gasförmig vorliegen.

20

Vorteil der Gastrennung mittels Membranen ist die energiearme Erzeugung von Gasen in der gewünschten Qualität. Die Kosten für die Bereitstellung sowie die Wartungs- und Instandhaltungsaufwendungen fallen gegenüber den klassischen Trennverfahren deutlich geringer aus. Weiterhin ist der Aufwand zur Steuerung und Regelung von Membrantrennverfahren gering. Die  
25 Anlagen sind oft modular aufgebaut und ermöglichen eine genaue Anpassung und Regelung von geforderten Volumenströmen. Weitere Vorteile bestehen in der Wirtschaftlichkeit der Anlagentechnik und in der spezifischen Lebensdauer einzelner Komponenten. Von Nachteil bei den bekannten  
30 Membrantrennverfahren ist, daß das Gas auf hohem Druckniveau der Membrantrenneinrichtung zugeführt werden muß, um den Durchtritt der abzutrennenden bzw. anzureichernden Komponente in den Permeatstrom zu bewirken. Die Verdichtung des Eingangsgasstroms vor Eintritt in die Membrantrenneinrichtung ist mit hohem Energieaufwand verbunden und daher kosten-  
35 intensiv.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Membrantrennverfahren und eine Trennvorrichtung der eingangs genannten Art zur Verfügung zu stellen, wobei die Gastrennung bzw. die Anreicherung einer Gaskomponente in einem Gasstrom bei geringem Energieaufwand und niedrigen Investitions- und Betriebskosten möglich ist.

Die zuvor angegebene und hergeleitete Aufgabe ist bei einem Membrantrennverfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß der Gasstrom vor Eintritt in die Membrantrenneinrichtung auf einen Eingangsdruck oberhalb des Umgebungsdruckes verdichtet wird und daß das Druckniveau auf der Permeatseite gegenüber dem Eingangsdruck des Gasstroms abgesenkt wird. Zur Lösung des vorgenannten Problems ist bei einer alternativen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Membrantrennverfahrens vorgesehen, daß der Gasstrom der Membrantrenneinrichtung auf Umgebungsdruck zugeführt wird, daß der Ausgangsdruck des Retentats aus der Membrantrenneinrichtung unterhalb des Umgebungsdruckes abgesenkt wird und daß das Druckniveau auf der Permeatseite gegenüber dem Ausgangsdruck des Retentatsstroms abgesenkt wird. Die zuvor angegebene Aufgabe ist konstruktiv erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß wenigstens eine Absaugeinrichtung zur Absenkung des Druckniveaus auf der Permeatseite der Membran vorgesehen ist, insbesondere zur Absenkung unterhalb von 1 bar.

Der Erfindung liegt der Grundgedanke zugrunde, das Druckniveau auf der Permeatseite der Membran über den beim Durchtritt der abzutrennenden Komponente durch die Membran auftretenden Druckverlust hinaus gegenüber dem Eingangsdruckniveau des anzureichernden Gasstroms bzw. in Bezug zum Ausgangsdruck des Retentatsstroms abzusenken. Die Triebkraft, die für den Durchtritt der anzureichernden Gaskomponente durch die Membran in den Permeatstrom erforderlich ist, wird durch die Druckdifferenz zwischen dem Eingangsgasstrom und dem Permeatstrom bzw. durch die Druckdifferenz zwischen dem Retentatsstrom und dem Permeatstrom festgelegt. Bei den aus dem Stand der Technik bekannten Membrantrennverfahren wird der Eingangsgasstrom auf ein hohes Druckniveau – üblicherweise 8 bis 20 bar – verdichtet, so daß eine ausreichend hohe Triebkraft sichergestellt wird. Erfindungsgemäß wird von diesem Stand der Technik abgewichen, wobei die Triebkraft zum Durchtritt der anzureichernden Gaskomponente durch die

Membran in den Permeatstrom nicht durch Verdichtung in den Eingangsgasstroms sondern durch Absenkung des Druckniveaus auf der Permeatseite erzeugt wird. Da der Energieaufwand zur Verdichtung eines Gasstroms bzw. der Energieaufwand zur Druckabsenkung in erster Näherung dem Gasvolumenstrom proportional ist, kann durch das erfindungsgemäße Verfahren der Energieaufwand zur Anreicherung einer Gaskomponente in einem Gasstrom gegenüber den bekannten Membrantrennverfahren deutlich gesenkt werden. Erfindungsgemäß ist es nämlich nicht mehr notwendig, den gesamten Eingangsgasstrom zu verdichten, sondern lediglich das Druckniveau des im Verhältnis zum Eingangsgasstrom zum Teil erheblich geringeren Permeatstroms abzusinken. Durch das erfindungsgemäße Membrantrennverfahren ist es erst möglich, neue Einsatzbereiche und Anwendungen zu erschließen und Membrantrennverfahren für bestimmte Bereiche wirtschaftlich einzusetzen.

Erfindungsgemäß sind grundsätzlich zwei alternative Ausführungsformen einer Membrantrennvorrichtung der eingangs genannten Art möglich. Der Gasstrom kann zum einen vor Eintritt in die Membrantrenneinrichtung auf einen Eingangsdruck oberhalb des Umgebungsdruckes verdichtet werden. In diesem Fall muß das Druckniveau auf der Permeatseite gegenüber dem Eingangsdruck des Gasstroms soweit abgesenkt werden, daß ein Durchtritt der anzureichernden Gaskomponente durch die Membran in den Permeatstrom sichergestellt ist. Zum anderen kann das Druckniveau auf der Retentatseite gesenkt werden, wobei der Gasstrom der Membrantrenneinrichtung auf Umgebungsdruck zugeführt wird. In diesem Fall ist es notwendig, daß das Druckniveau auf der Permeatseite gegenüber dem Ausgangsdruck des Retentatstroms soweit abgesenkt wird, daß ein Durchtritt der anzureichernden Komponente durch die Membran in den Permeatstrom erfolgen kann.

Wesentlich ist nun, daß die Verdichtung des Gasstroms vor Eintritt in die Membrantrenneinrichtung bzw. die Absenkung des Ausgangsdrucks des Retentatstroms aus der Membrantrenneinrichtung gerade in der Höhe erfolgt, daß der beim Durchtritt des Gasstroms retentatseitig in der Membrantrenneinrichtung auftretende Druckverlust kompensiert wird. Je geringer der Gasstrom verdichtet bzw. je weniger stark der Ausgangsdruck des Retentatstroms unterhalb des Umgebungsdrucks abgesenkt werden muß, desto geringer ist der

Energiebedarf des Membrantrennverfahrens. Gleichzeitig sinken die Investitions- und Betriebskosten des Verfahrens.

5 Weiterhin ist von Bedeutung, daß das Druckniveau auf der Permeatseite so stark gesenkt werden muß, daß die resultierende Triebkraft ausreicht, um eine Anreicherung der Gaskomponente in dem Permeatstrom zu bewirken. Selbstverständlich ist es erfindungsgemäß auch vorstellbar, daß zusätzlich zur Absenkung des Druckniveaus auf der Permeatseite das Druckniveau des eintretenden Gasstroms erhöht wird und somit die Triebkraft weiter vergrößert  
10 wird.

Wenngleich das erfindungsgemäße Verfahren insbesondere zur Sauerstoffanreicherung von Luft eingesetzt werden kann, ist es selbstverständlich auch möglich, andere Gaskomponenten in dem Gasstrom anzureichern. Beispielsweise kann das erfindungsgemäße Verfahren zur Stickstoffanreicherung von  
15 Luft eingesetzt werden, wobei der Sauerstoff aus der Luft durch die Membran in den Permeatstrom übergeht und somit eine Anreicherung des Retentatstroms mit Stickstoff erfolgt. Schließlich ist es auch denkbar, daß das erfindungsgemäße Verfahren nicht nur zur Anreicherung von Gaskomponenten in einem Gasstrom sondern auch zur Anreicherung von Komponenten in beliebigen fluiden Medien eingesetzt wird.  
20

Die Anreicherung einer gasförmigen Komponente in einem Gasstrom beruht auf dem Mechanismus der Gaspermeation, bei der sowohl der eintretende Gasstrom bzw. der Retentatstrom als auch der Permeatstrom gasförmig vorliegen. Der Vorgang der Gaspermeation ist an sich bekannt und kann durch eine Lösungs-Diffusions-Mechanismus beschrieben werden. Es findet in der Membrantrenneinrichtung an der Membranoberfläche eine Sorption der permeierenden Komponente des Gasstroms, beispielsweise des Sauerstoffs der  
25 Luft, statt. Es folgt die Diffusion durch die Membrantrennschicht und anschließend die Desorption auf der Permeatseite der Membran.  
30

Ein Hauptanwendungsgebiet des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Sauerstoffanreicherung von Luft. Sauerstoffangereicherte Luft kann in vielfältigen Anwendungen eingesetzt werden. Aufgrund des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es möglich, ein wenig energieintensives und damit wirtschaftliches  
35

Verfahren zur Sauerstoffanreicherung von Luft zur Verfügung zu stellen. Eine Absenkung des Druckniveaus auf der Permeatseite bewirkt eine Verbesserung des Trennprozesses. Der Sauerstoffgehalt im Permeat erhöht sich aufgrund der Vergrößerung der transmembranen Druckdifferenz. Gleichzeitig steigt der Volumenstrom des Permeats. Diese beiden Effekte führen zu einer Verbesserung der Trennleistung. Das Verfahren ermöglicht darüber hinaus eine einfache Regelung des Volumenstroms des Permeats und zeichnet sich durch eine einfache und wirtschaftliche Betriebsweise aus.

Basierend auf dem Mechanismus der Gaspermeation findet eine Trennung in einen sauerstoffangereicherten Permeatstrom und einen sauerstoffabgereicherten Retentatstrom statt. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es möglich, den Permeatstrom auf eine Sauerstoffkonzentration von 22 bis 45 Vol.-% aufzukonzentrieren, wobei vorzugsweise der Permeatstrom ca. 30 Vol.-% Sauerstoff aufweist. Während bei der Sauerstoffanreicherung von Luft vorgesehen ist, daß der Sauerstoff durch die Membran in den Permeatstrom übergeht, ist es grundsätzlich natürlich auch möglich, daß die anzureichernde Gaskomponente im Retentatstrom vorliegt. In diesem Fall ist es so, daß der Großteil bzw. eine Mehrzahl von Komponenten durch die Membran in den Permeatstrom übergeht, während die anzureichernde Komponente nicht durch die Membran hindurchtritt und dadurch im Retentatstrom angereichert wird.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren ist es in einfacher Weise möglich, den Volumenstrom des Permeatstroms und/oder die Konzentration der anzureichernden Gaskomponente im Permeatstrom durch die Absenkung des Druckniveaus auf der Permeatseite zu regeln. Dadurch wird eine besonders vorteilhafte Möglichkeit zur Verfügung gestellt, den Volumenstrom des Permeatstroms bzw. die Konzentration der angereicherten Gaskomponente exakt und reproduzierbar bei geringem Energieaufwand auf die besonderen Bedürfnisse des Anwenders einzustellen.

Eine vorteilhafte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, daß das Verfahren einstufig ausgeführt wird. "Einstufig" bezieht sich in diesem Zusammenhang auf die Druckerhöhung des Eingangsgasstroms oder die Druckabsenkung des Retentats und/oder die erfindungsgemäß vorgesehene Druckabsenkung des Permeats. Das einstufige Verfahren zeichnet sich



durch seinen einfachen Aufbau aus und ermöglicht eine übersichtliche Prozeßführung. Insbesondere bei technischen Anwendungen, bei denen es ausreichend ist, einen in Bezug auf die Gaskomponente nur mäßig angereicherten Permeatstrom zur Verfügung zu stellen, bietet sich die einstufige Ausführung des Verfahrens an. Dies gilt beispielsweise für die Sauerstoffanreicherung von Luft. Die einstufige Ausführung des Verfahrens führt zu geringeren Betriebs- und Investitionskosten und ist daher besonders wirtschaftlich einzusetzen.

Um den Energieverbrauch zur Verdichtung des Gasstroms vor Eintritt in die Membrantrenneinrichtung möglichst gering zu halten, ist vorzugsweise vorgesehen, daß die Druckdifferenz zwischen dem Gasstrom und dem Retentatstrom 1 bar, vorzugsweise 0,5 bar nicht überschreitet. Dabei ist von Bedeutung, daß die Druckdifferenz zwischen dem Gasstrom und dem Retentatstrom zumindest ausreichend groß ist, um die retentatseitig auftretenden Druckverluste zu kompensieren, die beim Durchströmen des Gasstroms durch die Membrantrenneinrichtung auftreten. Wenn die Druckdifferenz zwischen dem Gasstrom und dem Retentatstrom nicht ausreichend ist, stellt sich für die angereicherte Komponente im Permeatstrom eine geringere Konzentration ein.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß die Druckdifferenz in Abhängigkeit von der Konzentration der anzureichernden Komponente im Permeatstrom eingeregelt wird. Generell gilt, daß die Druckniveaus des Eingangsgasstroms und des Retentats bei entsprechend geforderten Konzentrationen des angereicherten Permeats möglichst gering sein sollten, um den Energieaufwand zu minimieren.

Erfindungsgemäß wurde weiter festgestellt, daß der Permeatstrom mit einem absoluten Druck zwischen 0,2 bar bis 2,0 bar, vorzugsweise zwischen 0,4 bis 1,4 bar und insbesondere mit einem absoluten Druck von kleiner 1 bar, also mit Unterdruck, abgeführt werden sollte, um einen Durchtritt der anzureichernden Gaskomponente durch die Membran in den Permeatstrom zu gewährleisten und gleichzeitig den Energieaufwand zur Anreicherung der Gaskomponente möglichst gering zu halten. Der Gasstrom sollte dazu mit einem absoluten Druck zwischen 1 bar bis 6 bar, vorzugsweise bis 3 bar und insbesondere mit 1,5 bar zugeführt werden, während der Retentatstrom mit einem

absoluten Druck zwischen 1 bar bis 5,5 bar, vorzugsweise bis 2,5 bar und insbesondere mit 1 bar, also etwa mit Umgebungsdruck, abgeführt werden sollte.

5 Erfindungsgemäß ist vorgesehen, daß als Membrantrenneinheiten z. B. Plattenmodule, Taschenmodule oder Hohlfasermodule eingesetzt werden können. Selbstverständlich ist es auch möglich, daß eine Mehrzahl unterschiedlicher Trenneinheiten kombiniert werden, um optimale Trennergebnisse zu erzielen. Die Stoffeigenschaften der eingesetzten Membranen, wie z. B. Trennschichtdicke der Membranen, Permeabilität, Selektivität und Temperaturbeständigkeit, beeinflussen die Leistung der Membrantrenneinrichtung. Grundsätzlich  
10 können jedoch alle Membrantypen für das erfindungsgemäße Verfahren in Abhängigkeit von dem jeweiligen Anwendungsfall konfektioniert und eingesetzt werden.

15 Die Haltbarkeit der Membrantrenneinrichtung ist nicht beschränkt, da keine mechanische Belastung durch bewegliche Teile verursacht wird. Das Verfahren ist daher sehr wartungsarm. Alterungseinflüsse der Membrantypen sind bei geeigneter Auswahl der Membrantypen in Abhängigkeit von dem Anwendungsverfahren nur von untergeordneter Bedeutung.

20 Um unterschiedliche Volumenströme zu erhalten, ist es erfindungsgemäß vorgesehen, daß der Gasstrom in wenigstens zwei Teilströme aufgeteilt und durch eine Mehrzahl von parallel angeordneten Membrantrenneinheiten und/oder Membrantrenneinrichtungen aufgetrennt wird. Selbstverständlich ist  
25 es auch möglich, daß mehrere, in eine Membrantrenneinrichtung eingesetzte Module, parallel betrieben werden. Grundsätzlich ist jedoch auch eine Reihenschaltung mehrerer Membrantrenneinheiten möglich.

30 Um eine Schädigung der Membrantrenneinrichtung bzw. der Membran und/oder der vor- oder nachgeschalteten Verdichtung bzw. Absaugung der gasförmigen Medien zu verhindern, ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß aus dem Gasstrom vor dem Eintritt in die Membrantrenneinrichtung, vorzugsweise vor der Verdichtung, eine Abscheidung von Störkomponenten, insbesondere von Partikeln und/oder Ölen und/oder Fetten, vorgesehen wird. Das  
35 Eindringen solcher Störkomponenten in die Anlagenkomponenten ist möglichst zu vermeiden, da die Störkomponenten die Trennung bzw. Anreicherung

rung der Gaskomponente negativ beeinflussen können. Insbesondere ist hier eine Schädigung der in der Membrantrenneinrichtung eingesetzten Membran zu befürchten. Grundsätzlich sollte der Aufwand zur Gasreinigung jedoch weitgehend minimiert werden, um die Kosten gering zu halten.

5

Der Gasstrom kann vor dem Eintritt in die Membrantrenneinrichtung, vorzugsweise nach der Verdichtung, gekühlt oder erwärmt werden. Dadurch wird sichergestellt, daß die maximal zulässigen Grenztemperaturen des jeweiligen Membrantyps nicht überschritten werden. Bei Erwärmung des Gasstroms kann das Auskondensieren von mit dem Gasstrom mitgeführten kondensierbaren Gasbestandteilen, beispielsweise Wasserdampf, verhindert werden. Wird das erfindungsgemäße Verfahren zur Sauerstoffanreicherung von Luft eingesetzt, kann die Luft somit unmittelbar aus der Umgebung der Membrantrenneinrichtung zugeführt werden und das Verfahren bei Umgebungstemperatur stattfinden.

15

Eine besonders bevorzugte Verwendung des eingangs genannten Verfahrens zur Sauerstoffanreicherung von Luft sieht vor, den sauerstoffangereicherten Permeatstoff zur gasmotorischen Verbrennung von Deponiegasen einzusetzen. Im Zuge der TA Siedlungsabfall haben sich auf Deponien die Gasqualitäten und -raten deutlich verändert. Die diffuse Entgasung von Methan im Deponiebereich wird durch gezielte Vorkehrungen der Deponietechnik, Gasdrai-

20 nagen und Sammelleitungen, reduziert. Die Gasqualität ist Schwankungen unterworfen und kann in Gasmotoren derzeit nur bei mindestens 40 % Methananteil im Deponiegas technisch in Blockheizkraftwerken genutzt werden. Alternativ wird das Methan abgefackelt oder diffuse Entgasungen treten verstärkt auf und belasten die Umwelt. Das Methan trägt 23 mal stärker zum Treibhauseffekt bei als Kohlendioxid und geht ungenutzt als Energieträger verloren.

25

30

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) garantiert feste Vergütungssätze für Strom aus Deponiegasen. Die Anlagentechnik ist zwar auf den Deponien vorhanden, kann aufgrund der Gasqualitäten jedoch oft nicht mehr genutzt werden.

35

Mit Hilfe des einstufigen Verfahrens zur Sauerstoffanreicherung von Luft ist es möglich, Anlagemodule zu erstellen, mit denen man Verbrennungsluft mit einem erhöhten Sauerstoffanteil erzeugen kann. Aufgrund der wirtschaftlichen günstigen Rahmenbedingungen des Verfahrens kann diese Verbrennungsluft mit einem erhöhten Sauerstoffanteil dann auch mit niedrigeren Gasqualitäten ( $< 40\%$  Methan) zusammen in den Blockheizkraftwerken technisch genutzt werden. Es verschieben sich die Massenanteile der Inertgasmengen und man erhält zündfähige Brennstoff-Luft-Gemische, die einen sicheren Motorenbetrieb gewährleisten. Weitere Vorteile bestehen in der Emissionsverminderung, der Wirkungsgradverbesserung und der Brennstoffeffizienz. Neben dem wirtschaftlichen Aspekt wird somit ein entscheidender Beitrag zur Umweltentlastung ermöglicht.

Die vorgenannten Vorteile ergeben sich auch bei Verwendung des erfindungsgemäß beschriebenen Verfahrens zur gasmotorischen Verbrennung von Holzgasen oder Sondergasen wie Klär- oder Biogasen, ohne daß im einzelnen auf diese spezielle Verwendung eingegangen wird. Weitere Einsatzgebiete bestehen in der Mikroturbinentechnik und Brennstoffzellentechnik. So können bei Verwendung des erfindungsgemäß beschriebenen Verfahrens mit der angereicherten Luft Wirkungsgradverbesserungen erzielt werden.

Darüber hinaus ist es bei einer anderen bevorzugten Ausgestaltung möglich, das erfindungsgemäße Verfahren zur Bereitstellung sauerstoffangereicherter Luft in einer Sporteinrichtung, insbesondere in einem Wellnesscenter o. dgl., einzusetzen. Um der erhöhten Sauerstoffaufnahme während einer sportlichen Betätigung Rechnung zu tragen bzw. das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Sportlers zu steigern, ist bekannt, in Sporteinrichtungen oder Wellnesscentern die Umgebungsluft mit Sauerstoff anzureichern. Der Sauerstoff stammt dabei üblicherweise aus Druckgasflaschen und ist dementsprechend kostenintensiv. Das erfindungsgemäße Verfahren bietet für diesen speziellen Verwendungsfall deutliche Vorteile aufgrund des geringen Energieverbrauchs und der deutlich geringeren Kosten, die durch die Sauerstoffanreicherung der in der Sporteinrichtung befindlichen Luft verursacht werden.

Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfin-

dungsgedankens anhand eines Ausführungsbeispiels und unter Bezugnahme auf die Zeichnung exemplarisch beschrieben. Es zeigen

Fig. 1 ein Verfahrensfliessbild zur Sauerstoffanreicherung von Luft unter Verwendung einer Membrantrenneinheit und

Fig. 2 den Verlauf der Sauerstoffkonzentration im Permeatstrom in Abhängigkeit von dem zur Anreicherung des Permeatstroms benötigten Energiebedarfs und des Volumenstroms des Permeats.

In der Fig. 1 ist ein einstufiges Verfahren zur Sauerstoffanreicherung von Luft unter Verwendung einer Membrantrennvorrichtung 1 dargestellt. Die Membrantrennvorrichtung 1 weist gemäß der Fig. 1 eine Membrantrenneinrichtung 2, eine der Membrantrenneinrichtung 2 nachgeschaltete Absaugeinrichtung 3, bei der es sich beispielsweise um einen Verdichter handelt, einen weiteren Verdichter 4 sowie optional einen Wärmetauscher 5 und einen Filter 6, die jeweils der Membrantrenneinrichtung 2 vorgeschaltet sind, auf.

Die anzureichernde Umgebungsluft 7 wird aus der Umgebung angesaugt und zur Abscheidung von Staubpartikeln oder groben Verschmutzungen dem Filter 6 zugeführt. Anschließend erfolgt im Verdichter 4 die Verdichtung der Luft 7 auf ein Druckniveau von 1 bis 3 bar absolut, insbesondere auf ein Druckniveau von 1,5 bar absolut.

Erfindungsgemäß besteht die Option, die Luft 7 nach der Verdichtung durch den Wärmetauscher 5 zu erwärmen bzw. zu kühlen. Dadurch wird zum einen sichergestellt, daß die zulässigen Betriebstemperaturen der Membrantrenneinrichtung 2, speziell die Grenztemperatur einer nicht im einzelnen dargestellten Membran einer Membrantrenneinheit 10 eingehalten werden können. Auf der anderen Seite ist es möglich, durch Erwärmen der Luft 7 ein Auskondensieren des mit der Luft 7 zugeführten Wasserdampfes zu vermeiden.

Der Luftstrom 7 wird nach dem Passieren des Wärmetauschers 5 der Membrantrenneinrichtung 2 zugeführt und teilt sich in ein sauerstoffabgereichertes Retentat 8 und ein sauerstoffangereichertes Permeat 9 auf.

Erfindungsgemäß ist nun vorgesehen, daß das Druckniveau auf der Permeatseite 11 der Membrantrenneinrichtung 2 durch die Absaugeinrichtung 3 abgesenkt wird. Vorzugsweise wird das Druckniveau auf der Permeatseite 11 der Membrantrenneinrichtung 2 auf 0,4 bis 1,4 bar, insbesondere auf  
5 kleiner 1 bar gesenkt, während das Druckniveau auf der Retentatseite 12 der Membrantrenneinrichtung 1 bis 2,5 bar, insbesondere 1 bar beträgt.

Die Membrantrenneinrichtung 2 kann aus Membrantrenneinheiten 10 unterschiedlicher Bauart bestehen. Als Membrantrenneinheiten 10 können beispielsweise Plattenmodule, Taschenmodule und/oder auch Hohlfasermodule Verwendung finden. Weitere konstruktive Ausführungen der Membrantrenneinheiten sind potentiell einsetzbar. Die Membrantrenneinheiten können parallel betrieben werden, um unterschiedliche Volumenströme zu erhalten.  
10 Wesentlich dabei ist, daß die Membrantrenneinheit 10 wenigstens eine Membran aufweist, die den selektiven Übergang ausgewählter Gaskomponenten in das Permeat 9 ermöglicht.

Ein wesentlicher Vorteil des Verfahrens liegt in der einstufigen Ausführung und damit verbundenen einfachen Prozeßführung. Der zugeführte Volumenstrom der Luft 7 wird in der Membrantrenneinrichtung 2 basierend auf dem Prinzip der Gaspermeation getrennt. Treibende Kraft dieser Trennung ist die Druckdifferenz zwischen der Luft 7 und dem Permeat 9. Die Anreicherung einer Gaskomponente in einem Gasstrom kann in Abhängigkeit von dem jeweiligen Anwendungsfall durch Variation der einzustellenden Volumenströme des Gasstroms, beispielsweise der Luft 7, des Retentats 8 und des Permeats 9 sowie der entsprechenden Druckniveaus gesteuert werden. Dabei ist es so, daß der Druck auf der Permeatseite 11 der Membrantrenneinrichtung 2, vor allem im Bereich von 0,4 bar bis 1,4 bar absolut, und insbesondere im  
25 Unterdruckbereich, eine Verbesserung des Trennprozesses bewirkt. Der Volumenstrom und der Sauerstoffgehalt des Permeats 9 können so variiert werden.

Erfindungsgemäß ist in diesem Zusammenhang vorgesehen, daß der Differenzdruck zwischen der in die Membrantrenneinrichtung 2 eintretenden Luft 7 und dem sauerstoffabgereicherten Retentat 8 0,5 bar nicht überschreitet. Die  
35

vorgenannte Druckdifferenz kann dabei im Hinblick auf einen minimalen Energieverbrauch des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. auf eine gewünschte Sauerstoffkonzentration des Permeats 9 eingeregelt werden.

5 Nicht dargestellt ist im übrigen, daß der Verdichter 4 selbstverständlich auch auf der Retentatseite 12 der Membran in der Art angeordnet sein kann, daß das Retentat 8 angesaugt wird. In diesem Fall ist eine Verdichtung der Luft 7 vor Eintritt in die Membrantrenneinrichtung 2 nicht notwendig. Wesentlich  
10 dabei ist, daß in diesem Fall die Triebkraft zur Trennung bzw. Anreicherung des Sauerstoffs im Permeat 9 durch die Druckdifferenz zwischen dem Retentat 8 und dem Permeat 9 bestimmt wird.

Um einen mobilen Einsatz bzw. einen Transport der Trennvorrichtung 1 in einfacher Art und Weise sicherzustellen, ist vorrichtungsgemäß weiterhin  
15 vorgesehen, daß insbesondere die Membrantrenneinrichtung 2, die Absaug- einrichtung 3 sowie der Verdichter 4 und/oder die weiteren, zu der Membrantrennvorrichtung 1 gehörenden Bauteile in einem transportablen Gehäuse in der Art eines Containers aufgenommen sind und eine mobile Baueinheit bilden. Dies bietet sich insbesondere deshalb an, da die erfindungsgemäße  
20 Trennvorrichtung 1 einen kompakten Aufbau und daraus resultierend geringe Abmessungen und ein geringes Gewicht der Anlagenkomponenten und Regelungseinheiten zuläßt.

Bei einem Ausführungsbeispiel zur Sauerstoffanreicherung von Luft 7 ist vor-  
25 gesehen, daß der Membrantrenneinrichtung 2 Luft 7 mit einem Volumenstrom von  $7,6 \text{ m}^3/\text{h}$  und einem Druck von 1,3 bar absolut zugeführt wird. In der Membrantrenneinrichtung 2 findet eine Trennung der Luft 7 in einen mit Sauerstoff angereicherten Volumenstrom, das Permeat 9, und in einen mit Sauerstoff abgereicherten Volumenstrom, das Retentat 8, statt. Auf der Permeatseite  
30 11 wird ein Unterdruck von 200 mbar durch die Absaugvorrichtung 3 aufgebracht. Es stellt sich ein Volumenstrom von  $3,1 \text{ m}^3/\text{h}$  bei einem Druck von 0,8 bar absolut ein und es wird in diesem Betriebszustand ein Sauerstoffgehalt von 25,46 % gemessen. Auf der Retentatseite 12 ist ein Druckniveau von 1,15 bar absolut eingestellt. Der Volumenstrom des Retentats 8 mit einem Anteil  
35 Sauerstoff von 18,75 % beträgt  $4,5 \text{ m}^3/\text{h}$ .

In der Fig. 2 ist schematisch und qualitativ der Verlauf der Sauerstoffkonzentration  $y_{O_2}$  [%] anhand der Kurve b in Abhängigkeit von der Absenkung des Druckniveaus auf der Permeatseite der Membrantrenneinrichtung dargestellt.

5 Erfindungsgemäß konnte zunächst festgestellt werden, daß sich in Abhängigkeit der Druckniveaus des Eingangsgasstroms und des Retentats ein Optimum für den angereicherten Volumenstrom auf der Permeatseite einstellt. Es kommt zu einem Anstieg der Sauerstoffkonzentration im Permeat. Ist der Differenzdruck zwischen dem Eingangsgasstrom und dem Retentatstrom zu  
10 gering, nimmt die erreichte Sauerstoffkonzentration ab.

Erfindungsgemäß konnte des weiteren festgestellt werden, daß die Absenkung des Druckniveaus auf der Permeatseite gegenüber dem Eingangsdruck des Gasstroms in die Membrantrenneinrichtung zu einer Verbesserung und  
15 höheren Konzentration der angereicherten Komponente im Permeatstrom führt.

Der Volumenstrom  $V_p$  [ $m^3/h$ ] des Permeats zeigt einen degressiv steigenden Verlauf mit sinkendem Druckniveau auf der Permeatseite (Kurve a). Der  
20 Energiebedarf  $P_{el}$  [kW] zur Absenkung des Druckniveaus auf der Permeatseite, der in der Fig. 2 durch die Kurve c dargestellt ist, steigt dagegen progressiv mit zunehmender Druckabsenkung des Permeatstroms an.



**Patentansprüche:**

1. Membrantrennverfahren zur Anreicherung wenigstens einer Gaskomponente in einem Gasstrom, insbesondere zur Sauerstoffanreicherung von Luft (7), wobei der Gasstrom zur Anreicherung der Gaskomponente wenigstens einer wenigstens eine Membran aufweisenden Membrantrenneinheit (10) einer Membrantrenneinrichtung (2) zugeführt wird und wobei an der Membran die Auftrennung des Gasstroms in ein auf einer Retentatseite (12) der Membran abgeführtes Retentat (8) und in ein auf einer Permeatseite (11) der Membran abgeführtes Permeat (9) erfolgt, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Gasstrom vor Eintritt in die Membrantrenneinrichtung (2) auf einen Eingangsdruck oberhalb des Umgebungsdruckes verdichtet wird und daß das Druckniveau auf der Permeatseite (11) gegenüber dem Eingangsdruck des Gasstroms abgesenkt wird.

2. Membrantrennverfahren zur Anreicherung wenigstens einer Gaskomponente in einem Gasstrom, insbesondere zur Sauerstoffanreicherung von Luft (7), wobei der Gasstrom zur Anreicherung der Gaskomponente wenigstens einer wenigstens eine Membran aufweisenden Membrantrenneinheit (10) wenigstens einer Membrantrenneinrichtung (2) zugeführt wird und wobei an der Membran die Auftrennung des Gasstroms in ein auf einer Retentatseite (12) der Membran abgeführtes Retentat (8) und in ein auf einer Permeatseite (11) der Membran abgeführtes Permeat (9) erfolgt, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Gasstrom der Membrantrenneinrichtung (2) auf Umgebungsdruck zugeführt wird, daß der Ausgangsdruck des Retentats (8) aus der Membrantrenneinrichtung (2) unterhalb des Umgebungsdruckes abgesenkt wird und daß das Druckniveau auf der Permeatseite (11) gegenüber dem Ausgangsdruck des Retentats (8) abgesenkt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Eingangsdruck des Gasstroms bzw. der Ausgangsdruck des Retentats (8) im wesentlichen in Höhe des Druckverlustes auf der Retentatseite (12) der Membrantrenneinrichtung (2) verdichtet bzw. abgesenkt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Volumenstrom des Permeats (9) und/oder die Konzentration der angereicherten Gaskomponente durch die Absenkung des Druckniveaus auf der Permeatseite (11) geregelt wird.

5

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren einstufig ausgeführt wird.

10

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Druckdifferenz zwischen dem Gasstrom und dem Retentat (8) 1 bar, vorzugsweise 0,5 bar nicht überschreitet und/oder daß die Druckdifferenz in Abhängigkeit von der Konzentration der anzureichernden Komponente im Permeat (9) eingeregelt wird.

15

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Permeat (9) mit einem absoluten Druck zwischen 0,2 bar bis 2 bar, vorzugsweise zwischen 0,4 bar bis 1,4 bar und insbesondere mit einem absoluten Druck von kleiner 1 bar aus der Membrantrenneinrichtung (2) abgeführt wird.

20

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasstrom mit einem absoluten Druck zwischen 1 bar bis 6 bar, vorzugsweise bis 3 bar und insbesondere mit 1,5 bar der Membrantrenneinrichtung (2) zugeführt wird.

25

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Retentat (8) mit einem absoluten Druck zwischen 1 bar bis 5,5 bar, vorzugsweise bis 2,5 bar und insbesondere von etwa 1 bar abgeführt wird.

30

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die anzureichernde Gaskomponente durch die Membran in das Permeat (9) übergeht.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Permeat (9) auf eine Sauerstoffkonzentration von 22 bis 45 Vol.-%, vorzugsweise von 30 Vol.-% angereichert wird.
- 5 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Membrantrenneinheit (10) wenigstens ein Taschenmodul und/oder Plattenmodul und/oder Hohlfasermodule eingesetzt wird.
- 10 13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasstrom in wenigstens zwei Teilströme aufgeteilt und durch eine Mehrzahl von parallel angeordneten Membrantrenneinheiten (10) und/oder Membrantrenneinrichtungen (2) einer Membrantrennvorrichtung (1) aufgetrennt wird.
- 15 14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Gasstrom vor dem Eintritt in die Membrantrenneinrichtung (2), vorzugsweise vor der Verdichtung, eine Abscheidung von Störkomponenten, insbesondere von Partikeln und/oder Ölen und/oder Fetten, vorgesehen wird.
- 20 15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasstrom vor dem Eintritt in die Membrantrenneinrichtung (2), vorzugsweise nach der Verdichtung, gekühlt oder erwärmt wird.
- 25 16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Gasstrom vor dem Eintritt in die Membrantrenneinrichtung (2) kondensierbare Bestandteile, insbesondere Wasser, abgeschieden werden.
- 30 17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Auftrennung des Gasstroms in der Membrantrenneinrichtung (2) bei Umgebungstemperatur erfolgt.
- 35 18. Membrantrennvorrichtung (1) zur Anreicherung wenigstens einer Gas Komponente in einem Gasstrom, insbesondere zur Sauerstoffanreicherung von Luft (7), vorzugsweise zur Durchführung des Verfahrens nach einem der An-

sprüche 1 bis 17, mit wenigstens einer wenigstens eine Membran aufweisen-  
den Membrantrenneinheit (10) einer Membrantrenneinrichtung (2), wobei der  
Gasstrom zur Anreicherung der Gaskomponente der Membrantrenneinrich-  
tung (2) zugeführt wird und an der Membran die Auftrennung des Gasstroms  
5 in ein auf einer Retentatseite (12) der Membran abgeführtes Retentat (8) und  
in ein auf einer Permeatseite (11) der Membran abgeführtes Permeat (9) er-  
folgt, **dadurch gekennzeichnet**, daß wenigstens eine Absaugeinrichtung (3)  
zur Absenkung des Druckniveaus auf der Permeatseite (11) der Membran  
vorgesehen ist, insbesondere zur Absenkung unterhalb von 1 bar.

10

19. Trennvorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß wenig-  
stens ein Verdichter (4) zur Erhöhung des Eingangsdrucks des Gasstroms der  
Membrantrenneinrichtung (2) vorgeschaltet ist oder daß eine weitere  
Absaugeinrichtung zur Absenkung des Ausgangsdrucks des Retentats (8) der  
15 Membrantrenneinrichtung (2) nachgeschaltet ist.

20. Trennvorrichtung nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, daß  
wenigstens ein Wärmetauscher (5) zur Kühlung oder Erwärmung des Gas-  
stroms der Membrantrenneinrichtung (2) vorgeschaltet ist.

20

21. Trennvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 18 bis 20,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Membrantrenneinrichtung (2) wenigstens  
eine Membrantrenneinheit (10) aufweist, wobei als Membrantrenneinheit (10)  
wenigstens ein Plattenmodul und/oder ein Taschenmodul und/oder ein Hohl-  
25 fasermodule vorgesehen ist.

25

22. Trennvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 18 bis 21,  
dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine Einrichtung, vorzugsweise ein  
Filter (6), zur Abscheidung von Störstoffen aus dem Gasstrom, insbesondere  
30 von Partikeln und/oder von Fetten und/oder von Ölen, der Membrantrennein-  
richtung (2), vorzugsweise dem Verdichter (3), vorgeschaltet ist.

30

23. Trennvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 18 bis 22,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Membrantrenneinrichtung (2) und die Ab-  
35 saugeinrichtung (3) sowie der Verdichter (4) oder die weitere Absaugeinrich-

35

tung in einem transportablen Gehäuse aufgenommen sind und eine mobile Baueinheit bilden.

5 24. System zur Anreicherung einer Gaskomponente in einem Gasstrom, insbesondere zur Sauerstoffanreicherung von Luft, vorzugsweise zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Mehrzahl von vorzugsweise parallel angeordneten Membrantrennvorrichtungen (1) nach einem der Ansprüche 18 bis 23 vorgesehen ist.

10

25. Verwendung eines Membrantrennverfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 17 und/oder wenigstens einer Membrantrennvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 18 bis 23 zur Bereitstellung sauerstoffangereicherter Luft zur gasmotorischen Verbrennung heizwertarmer und/oder ballastreicher Brenngase, insbesondere von Deponiegasen, Vergasungsgasen, Klärgasen oder Biogasen.

15

26. Verwendung eines Membrantrennverfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 17 und/oder wenigstens einer Membrantrennvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 18 bis 23 zur Bereitstellung sauerstoffangereicherter Luft in einer Sporteinrichtung, insbesondere in einem Wellnesscenter oder dgl..

20

27. Verwendung eines Membrantrennverfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 17 und/oder wenigstens einer Membrantrennvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 18 bis 23 zur Bereitstellung sauerstoffangereicherter Luft zur Nutzung in Mikroturbinen und/oder in Brennstoffzellen.

25

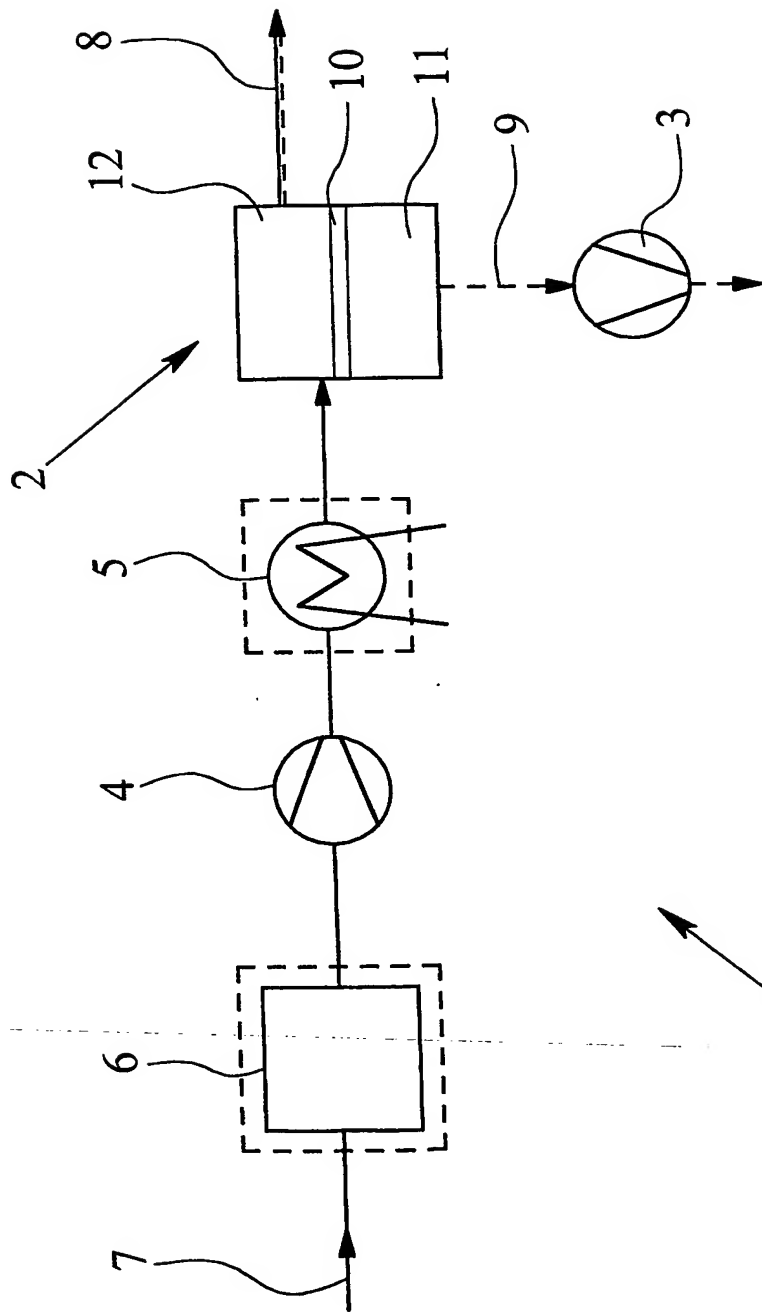


Fig. 1

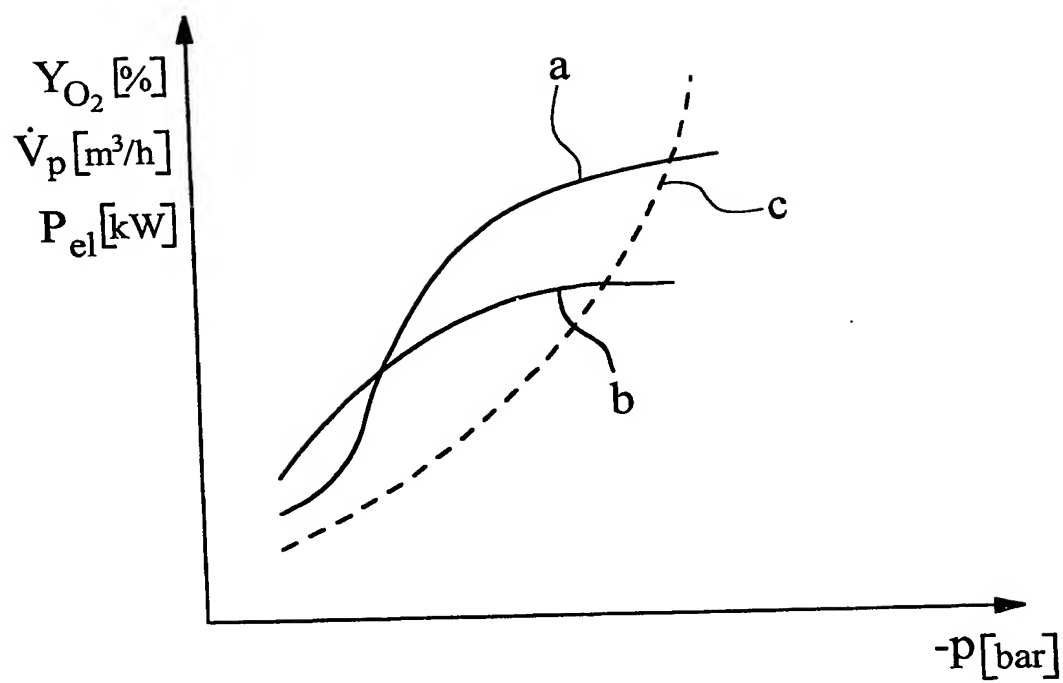


Fig. 2

### **Zusammenfassung:**

Die Erfindung betrifft ein Membrantrennverfahren zur Anreicherung wenigstens einer Gaskomponente in einem Gasstrom, insbesondere zur Sauerstoffanreicherung von Luft (7), wobei der Gasstrom zur Anreicherung der Gaskomponente wenigstens einer wenigstens eine Membran aufweisenden Membrantrenneinheit (10) einer Membrantrenneinrichtung (2) zugeführt wird und wobei an der Membran die Auftrennung des Gasstroms in ein auf einer Retentatseite (12) der Membran abgeführtes Retentat (8) und in ein auf einer Permeatseite (11) der Membran abgeführtes Permeat (9) erfolgt. Um die Gastrennung bzw. die Anreicherung einer Gaskomponente in einem Gasstrom bei geringem Energieaufwand und niedrigen Investitions- und Betriebskosten zu ermöglichen, ist vorgesehen, daß der Gasstrom vor Eintritt in die Membrantrenneinrichtung (2) auf einen Eingangsdruck oberhalb des Umgebungsdruckes verdichtet wird und daß das Druckniveau auf der Permeatseite (11) gegenüber dem Eingangsdruck des Gasstroms abgesenkt wird.



